



## Artigo original

# Predição do diâmetro do enxerto dos tendões flexores na reconstrução do ligamento cruzado anterior por meio da ressonância nuclear magnética<sup>☆</sup>

Fabiano Kupczik<sup>a</sup>, Luiz Otávio Bombonato Tauscheck<sup>a,\*</sup>,  
Marlus Eduardo Gunia Schiavon<sup>a</sup>, Bruno Sbrissia<sup>a</sup>,  
Lucio Sergio Rocha Ernlund<sup>b</sup> e Ricardo Augusto Lass Alves<sup>a</sup>

<sup>a</sup> Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR), Hospital Universitário Cajuru, Curitiba, PR, Brasil

<sup>b</sup> Instituto de Joelho e Ombro, Curitiba, PR, Brasil

## INFORMAÇÕES SOBRE O ARTIGO

### Histórico do artigo:

Recebido em 15 de julho de 2015

Aceito em 8 de setembro de 2015

On-line em 22 de janeiro de 2016

### Palavras-chave:

Ligamento cruzado anterior

Reconstrução do ligamento cruzado anterior

Espectroscopia de ressonância magnética

Procedimentos ortopédicos

## R E S U M O

**Objetivo:** Avaliar o diâmetro dos tendões flexores em exames de ressonância magnética (RNM) pré-operatória e comparar com o diâmetro do enxerto obtido no ato intraoperatório. **Métodos:** Em um estudo epidemiológico longitudinal retrospectivo, 44 pacientes foram elegíveis ao estudo e tiveram os exames de RNM e dados de cirurgias avaliados. Os tendões foram medidos na RNM no seu maior diâmetro no plano axial com o uso do epicôndilo medial do fêmur como nível de corte. Na cirurgia foi feito preparo de rotina do enxerto, dobraram-se os tendões grácil e semitendinoso, formou-se um enxerto quádruplo que teve sua medida registrada.

**Resultados:** Para a avaliação da associação entre as variáveis foi estimado o coeficiente de correlação de Pearson. Foi encontrada correlação significativa entre as medidas dos tendões grácil e semitendinoso e o diâmetro final do enxerto ( $p < 0,001$ ). Ajustou-se uma curva ROC para a soma do diâmetro dos tendões, para a determinação de um ponto de corte associado ao diâmetro do enxerto ( $\leq 8$  mm ou  $> 8$  mm). Caso a soma seja maior do que 5,28 mm, a chance de obter um enxerto maior do que 8 mm é de 75%.

**Conclusão:** A medida do diâmetro dos tendões grácil e semitendinoso no exame da RNM pré-operatória é uma maneira simples e eficaz na predição do tamanho final do enxerto a ser usado na cirurgia de reconstrução do LCA.

© 2015 Sociedade Brasileira de Ortopedia e Traumatologia. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

<sup>☆</sup> Trabalho desenvolvido na Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR), Hospital Universitário Cajuru, Curitiba, PR, Brasil.

\* Autor para correspondência.

E-mail: [luizotaviobt@hotmail.com](mailto:luizotaviobt@hotmail.com) (L.O.B. Tauscheck).

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rbo.2015.09.004>

0102-3616/© 2015 Sociedade Brasileira de Ortopedia e Traumatologia. Publicado por Elsevier Editora Ltda. Este é um artigo Open Access sob uma licença CC BY-NC-ND (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Prediction of flexor tendon graft diameter in reconstruction of the anterior cruciate ligament by means of magnetic resonance imaging

### A B S T R A C T

#### Keywords:

Anterior cruciate ligament  
Anterior cruciate ligament  
reconstruction  
Magnetic resonance  
spectroscopy  
Orthopedic procedures

**Objective:** To evaluate the diameter of the flexor tendons in preoperative magnetic resonance imaging (MRI) examinations and compare this with the diameter of the graft obtained intraoperatively.

**Methods:** This was a retrospective longitudinal epidemiological study. Forty-four patients were eligible for the study and their MRI examinations and surgical data were evaluated. The tendons were measured on MRI across their largest diameter in the axial plane, using the medial epicondyle of the femur as the slice level. In the surgery, routine graft preparation was performed, consisting of folding the gracilis and semitendinosus tendons to form a four-strand graft. Its measurement was recorded.

**Results:** To evaluate the association between the variables, Pearson's correlation coefficient was estimated. A significant correlation was found between the measurements of the gracilis and semitendinosus tendons and the final diameter of the graft ( $p < 0.001$ ). A ROC curve was fitted to the sum of the tendon diameters in order to determine a cutoff point associated with the graft diameter ( $\leq 8$  mm or  $> 8$  mm). If the sum was greater than 5.28 mm, the chance of obtaining a graft larger than 8 mm would be 75%.

**Conclusion:** Measurement of the diameters of the gracilis and semitendinosus tendons through a preoperative MRI examination is a simple and effective way to predict the final size of the graft to be used in ACL reconstruction surgery.

© 2015 Sociedade Brasileira de Ortopedia e Traumatologia. Published by Elsevier Editora Ltda. This is an open access article under the CC BY-NC-ND license (<http://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>).

## Introdução

A ruptura do ligamento cruzado anterior (LCA) é a lesão ligamentar mais comum do joelho, acomete mais de 100 mil pessoas por ano nos Estados Unidos. E sua incidência tem aumentado em decorrência do maior estímulo e da maior adesão da população à prática esportiva.<sup>1,2</sup>

O LCA origina-se na porção posterior do côndilo femoral lateral e insere-se lateralmente e anteriormente à espinha tibial medial. Apresenta um curso intrarticular e extrassinovial e tem comprimento médio de 38 mm e diâmetro médio de 11 mm.<sup>3-5</sup>

Atualmente, sabe-se que o LCA é composto por dois conjuntos de fibras ou bandas: uma anteromedial (AM) e outra posteromedial (PL). No fêmur, a AM emerge mais proximalmente e posteriormente e a PL mais distalmente e anteriormente. As bandas são torcidas em seu trajeto no intercôndilo e as inserções tibiais seguem a ordem que lhes dá o nome: anteromedial para AM e posterolateral para PL.<sup>5-8</sup>

O tratamento cirúrgico por meio da reconstrução ligamentar é preconizado para a maioria das lesões do LCA. Atualmente, existem diversas opções de enxertos para substituí-lo, os tendões flexores (semitendinoso e grácil), o tendão patelar e o tendão quadricipital são os mais usados.<sup>2,9</sup> A escolha deve considerar o perfil e a idade do paciente, o tipo de esporte, as lesões associadas e a experiência do cirurgião. O enxerto ideal ainda permanece indefinido e alguns estudos demonstram que enxertos com diâmetros menores do que 7 mm estão associados a maior chance de falha e recidivas.<sup>10-13</sup>

Com o avanço dos exames de imagem, é possível fazer pré-operatoriamente a medida do diâmetro dos tendões na ressonância nuclear magnética (RNM), que é o exame de imagem padrão ouro para o diagnóstico da lesão, e, com isso, fazer uma escolha objetiva do enxerto a ser usado na reconstrução do LCA previamente à cirurgia.<sup>1,2,14-20</sup>

O objetivo deste trabalho foi avaliar o diâmetro dos tendões flexores na RNM pré-operatória e comparar com o diâmetro do enxerto obtido no ato intraoperatório.

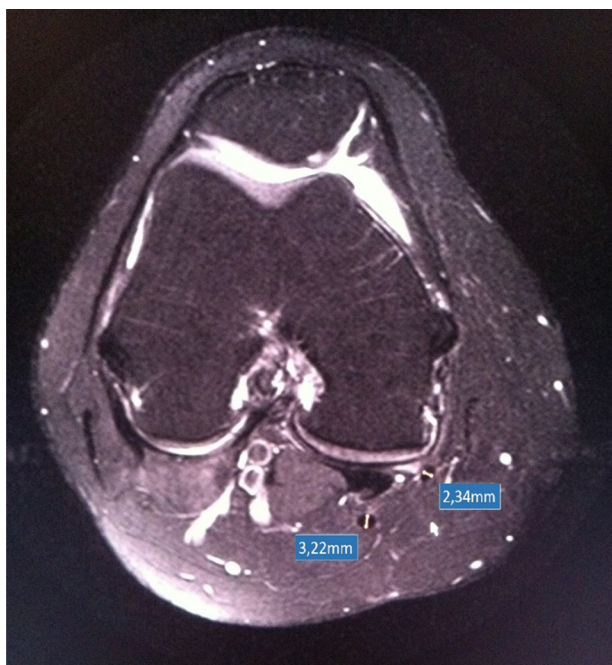
## Material e métodos

Após aprovação do Comitê de Ética por meio do site Plataforma Brasil sob o número do Certificado de Apresentação para Apreciação Ética (CAAE) 39346814.4.0000.0020, foram coletados e revisados 100 exames de ressonância magnética e dados de cirurgias feitas entre 2012 e 2014 em um estudo epidemiológico longitudinal retrospectivo.

Foram usados os seguintes critérios de inclusão: lesão completa do LCA, pacientes esqueleticamente maduros, ausência de lesões ligamentares ou degenerativas prévias. E os seguintes critérios de exclusão: cirurgia prévia, hiperfrouxidão ligamentar, uso contínuo de corticoides, hipoplasia intercondilar (largura da região distal do fêmur/fossa condilar  $< 0,2$ ).

Após a seleção dos pacientes pelos critérios de inclusão e exclusão, obteve-se o número de 44 pacientes elegíveis ao estudo.

As variáveis deste estudo foram mensuradas em exames de RNM por um único médico radiologista nas seguintes máquinas: modelo Achieva 1,5 T (Philips Healthcare, Best,



**Figura 1 – Mensuração do diâmetro dos tendões do semitendinoso e do grácil.**

The Netherlands) e modelo HDx 1,5 T (GE Medical Systems, Milwaukee, EUA). Todos os exames foram feitos com a técnica de densidade de prótons com supressão de gordura. Os tendões do semitendinoso e do grácil na RNM foram medidos no seu maior diâmetro no plano axial com o epicôndilo medial do fêmur como nível de corte (fig. 1).

Durante o ato operatório, os tendões foram retirados pela técnica convencional com tenótomo fechado. Foi feito preparo de rotina do enxerto, dobraram-se os tendões grácil e semitendinoso, formou-se um enxerto quádruplo. Com o enxerto preparado, foi feita a mensuração do diâmetro para a perfuração dos túneis ósseos na tíbia e no fêmur. Esses dados foram registrados nos prontuários dos pacientes.

## Análise estatística

Para a avaliação da associação entre as variáveis foi estimado o coeficiente de correlação de Pearson. A avaliação da condição das variáveis grácil e semitendinoso como preditoras do diâmetro do enxerto foi feita por meio de modelos de regressão linear (simples e múltipla) e para avaliação da associação da soma de grácil e semitendinoso com a probabilidade do diâmetro do enxerto ser maior do que 8 mm foi ajustado um modelo de regressão logística. O teste de Wald foi usado para avaliar a significância dos coeficientes.

Ainda sobre a soma do grácil com semitendinoso para a determinação de um ponto de corte associado a diâmetro do enxerto ( $\leq 8$  mm ou  $> 8$  mm) foi ajustada uma curva ROC. Valores de  $p < 0,05$  indicaram significância estatística.

Os dados foram analisados com o programa computacional IBM SPSS Statistics v.20.0.

**Tabela 1 – Diâmetro dos enxertos**

Diâmetro do enxerto	n	%
6	1	2,3
7	3	6,8
8	24	54,5
9	14	31,8
10	2	4,5
Total	44	100

## Resultados

Dos 44 pacientes estudados, 33 eram do sexo masculino (75%) e 11 do feminino (25%). A idade variou de 11 a 54 anos, com uma média de 31,8 anos.

A medida média do diâmetro na ressonância magnética do tendão grácil foi de 2,17 mm, variou de 1,45 a 2,76 mm, enquanto a média do semitendinoso foi de 2,96, variou de 2,52 a 3,73 mm.

Durante a cirurgia a média de tamanho dos enxertos usados na reconstrução do LCA foi de 8,3 mm, variou de 6 a 10 mm (tabela 1).

Na figura 2 pode ser visualizado o diagrama de dispersão das variáveis grácil e semitendinoso e destaca-se a diferenciação das coordenadas de acordo com o diâmetro do enxerto.

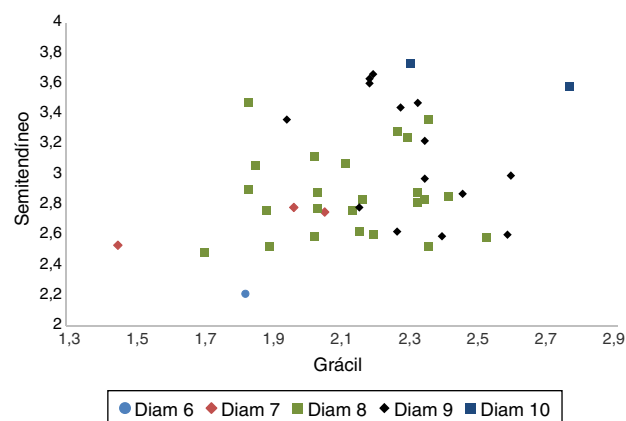
## Correlação de dados

### Grácil x diâmetro do enxerto

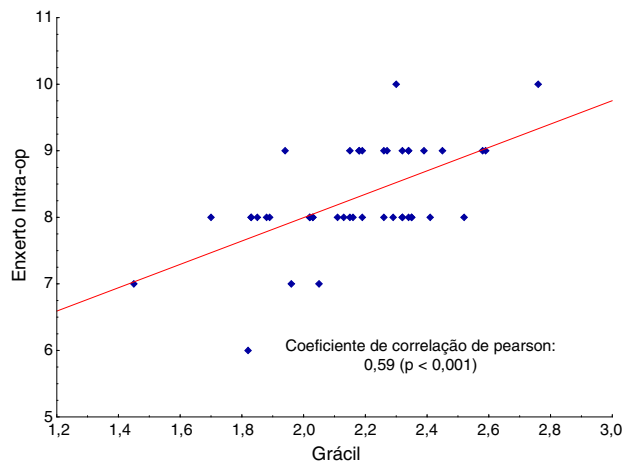
O coeficiente de correlação de Pearson estimado foi de 0,59 e o resultado do teste indicou significância estatística ( $p < 0,001$ ). Assim, existe correlação significativa entre grácil e diâmetro do enxerto. Na figura 3 é apresentado o diagrama de dispersão das duas variáveis. Cada ponto corresponde a um caso.

### Semitendinoso x diâmetro do enxerto

O coeficiente de correlação de Pearson estimado foi de 0,59 e o resultado do teste indicou significância estatística ( $p < 0,001$ ). Assim, existe correlação significativa entre semitendinoso e diâmetro do enxerto. Na figura 4 é apresentado o diagrama de



**Figura 2 – Diagrama de dispersão das variáveis grácil e semitendinoso.**



**Figura 3 – Grácil x diâmetro do enxerto.**

dispersão das duas variáveis. Cada ponto corresponde a um caso.

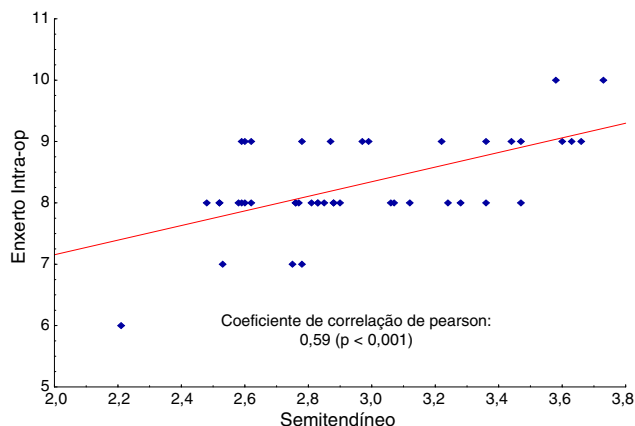
#### **Soma grácil + semitendinoso x diâmetro do enxerto**

O coeficiente de correlação de Pearson estimado foi de 0,74 e o resultado do teste indicou significância estatística ( $p < 0,001$ ). Assim, existe correlação significativa entre a soma grácil + semitendinoso e o diâmetro do enxerto. Na [figura 5](#) é apresentado o diagrama de dispersão das duas variáveis. Cada ponto corresponde a um caso.

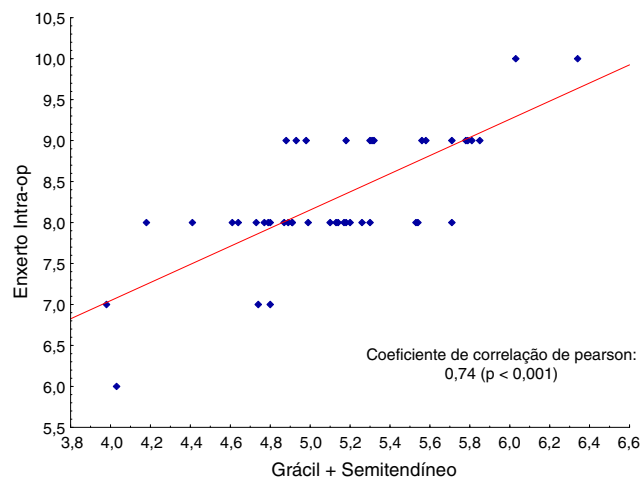
O coeficiente de correlação de Pearson de ambos os tendões apresentou uma força moderada de correlação positiva, o que indica uma tendência de que quanto maior o diâmetro do tendão do paciente, maior será o diâmetro final do enxerto obtido para reconstrução do LCA.

#### **Avaliação da qualidade da soma grácil + semitendinoso como preditora do diâmetro do enxerto**

Para avaliação da soma grácil + semitendinoso como preditora do diâmetro do enxerto ajustou-se um modelo de regressão linear simples e considerou-se a soma como variável explicativa (independente) e o diâmetro do enxerto como variável resposta (dependente). O modelo ajustado é:



**Figura 4 – Semitendinoso x diâmetro do enxerto.**



**Figura 5 – Soma grácil + semitendinoso x diâmetro do enxerto.**

Diâmetro estimado =  $2,618 + 1,107$  (grácil + semitendinoso)

A estimativa de diâmetro para cada particular valor da soma grácil + semitendinoso deve ser arredondada para o inteiro mais próximo. Por exemplo, para um particular caso que apresente resultado de grácil + semitendinoso igual a 6,51, o valor estimado do diâmetro corresponderá a:

Diâmetro estimado =  $2,618 + 1,107 \times 6,51 = 9,82$

O resultado de diâmetro a ser considerado é igual a 10.

Com base na amostra deste estudo, na [tabela 2](#) são apresentadas as classificações obtidas com o modelo para cada particular diâmetro do enxerto.

Como um resultado de interesse, o coeficiente de determinação foi de 55%. Assim, estima-se que 55% das variações do diâmetro são explicadas pela soma grácil + semitendinoso.

Avaliação da qualidade da soma grácil + semitendinoso como preditora do diâmetro do enxerto  $\leq 8$  mm ou  $> 8$  mm

A análise apresentada abaixo teve por objetivo avaliar se a soma grácil + semitendinoso discrimina bem entre ter diâmetro do enxerto  $\leq 8$  mm ou ter diâmetro do enxerto  $> 8$  mm.

Ajustou-se um modelo de regressão logística considerando-se a soma grácil + semitendinoso como variável explicativa e o diâmetro do enxerto ( $\leq 8$  mm ou  $> 8$  mm) como variável resposta. Testou-se a hipótese nula de que não existe associação entre a soma grácil + semitendinoso e a probabilidade do diâmetro do enxerto ser  $> 8$  mm, versus a hipótese alternativa de que existe associação. O resultado do teste indicou a rejeição da hipótese nula ( $p = 0,001$ ) e indicou que a soma grácil + semitendinoso influencia significativamente a probabilidade de o enxerto ser  $> 8$  mm.

Na [tabela 3](#) e na [figura 6](#) são apresentados valores da soma grácil + semitendinoso e a respectiva probabilidade de diâmetro de o enxerto ser  $> 8$  mm estimadas pelo modelo ajustado

#### **Determinação de um ponto de corte para a soma grácil + semitendinoso que esteja associado a diâmetro do enxerto $\leq 8$ mm ou $> 8$ mm (Curva ROC)**

Ajustou-se uma curva ROC para a soma grácil + semitendinoso e considerou-se o diâmetro do enxerto (até 8 mm ou  $> 8$  mm).

**Tabela 2 – Grácil + semitendinoso como preditora do diâmetro do enxerto**

Diâmetro estimado pelo modelo	Diâmetro observado na amostra									
	6		7		8		9		10	
	n	%	n	%	n	%	n	%	n	%
6	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%
7	1	100%	1	33,3%	2	8,3%	0	0%	0	0%
8	0	0%	2	66,7%	19	79,2%	6	42,9%	0	0%
9	0	0%	0	0%	3	12,5%	8	57,1%	1	50%
10	0	0%	0	0%	0	0%	0	0%	1	50%
Total	1	100%	3	100%	24	100%	14	100%	2	100%

**Tabela 3 – Probabilidade do diâmetro do enxerto**

Grácil + semitendinoso	Probabilidade de o diâmetro do enxerto ser > 8 mm
3,5	0,001
4	0,005
4,5	0,035
5	0,201
5,5	0,632
6	0,922
6,5	0,988
7	0,998

**Tabela 4 – Sensibilidade e especificidade de acordo com o ponto de corte**

Grácil + semitendinoso	Diâmetro do enxerto (mm)	
	≤ 8	> 8
≤ 5,28	24 85,7% (especif)	4 25%
> 5,28	4 14,3%	12 75% (sensib)
Total	28	16

A área abaixo da curva foi igual a 0,87 com significância estatística ( $p < 0,001$ ). Isso indica que o ajuste da curva é bom e que a soma grácil + semitendinoso discrimina bem entre diâmetro até 8 mm ou diâmetro > 8 mm.

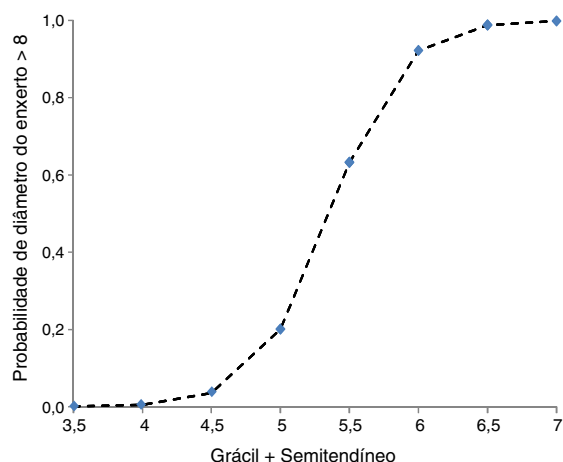
O ponto de corte ótimo para a soma grácil + semitendinoso foi igual a 5,28, com sensibilidade de 75% e especificidade de 85,7%. Na [tabela 4](#) são apresentados esses resultados.

Sensibilidade: probabilidade do grácil + semitendinoso ser > 5,28 se o diâmetro do enxerto for > 8 mm

Especificidade: probabilidade do grácil + semitendinoso ser ≤ 5,28 se o diâmetro do enxerto for ≤ 8 mm.

No [figura 7](#) é apresentada a curva ROC ajustada.

Na [figura 8](#) são apresentados os valores de sensibilidade e especificidade para diversos valores da soma grácil + semitendinoso.

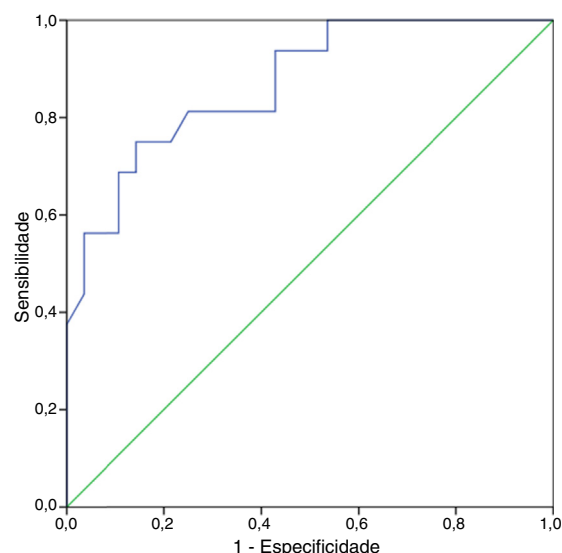
**Figura 6 – Probabilidade do diâmetro do enxerto.**

## Discussão

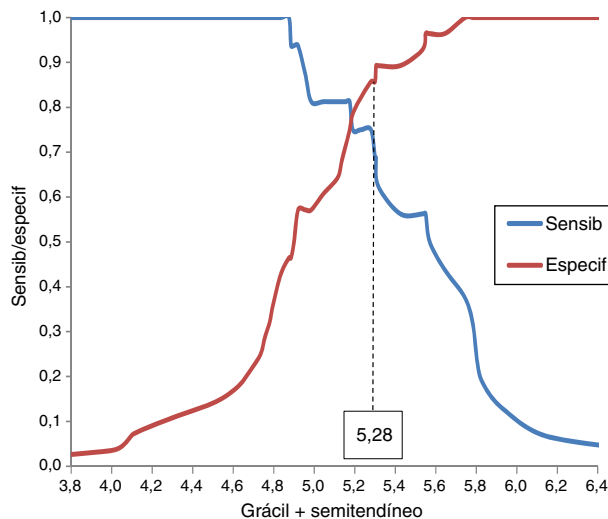
Neste estudo, houve uma correlação importante entre as medidas do diâmetro dos tendões na ressonância magnética e o tamanho obtido na cirurgia.

Não foram encontrados estudos na literatura nos quais se tenham feito as medidas de modo similar a este, isto é, com a mensuração dos tendões do semitendinoso e do grácil em seu maior diâmetro no plano axial com o nível de corte do epicôndilo medial no fêmur.

Beyzadeoglu et al.<sup>1</sup> encontraram significância estatística na medida da área de seção transversal dos tendões flexores mensurados em dois níveis na RNM e o tamanho do enxerto obtido intraoperatório feitos em 51 pacientes. Nesses

**Figura 7 – Curva ROC.**





**Figura 8 – Sensibilidade e especificidade para diversos valores da soma grácil + semitendinoso.**

dois níveis, foram medidos os diâmetros também. Porém, não houve correlação significativa.

Em estudo semelhante, Bickel et al.<sup>19</sup> observaram correlação importante entre as áreas somadas do semitendinoso e grácil mensurados na RNM com valores acima de 18mm<sup>2</sup> e a obtenção de um enxerto de tamanho satisfatório em 88% dos casos.

Em outro estudo, Wernecke et al.<sup>16</sup> analisaram a área dos tendões na RNM de 34 pacientes e recomendam uma área de 10mm<sup>2</sup> para o tendão do grácil e 17mm<sup>2</sup> para o tendão do semitendinoso para se obter um enxerto de tamanho adequado. Considerou-se um enxerto quádruplo.

Hamada et al.<sup>18</sup> fizeram a aferição da área do semitendinoso na RNM em 79 pacientes e demonstraram que, com uma área maior do que 11mm<sup>2</sup> durante a cirurgia, obtém-se um enxerto maior ou igual a 7 mm em 89% dos casos.

De maneira diferente, Yasumoto et al.<sup>20</sup> mostraram que é possível prever o tamanho do enxerto por meio do exame de tomografia computadorizada tridimensional em 28 pacientes.

Outros estudos tentam prever a chance de falha na reconstrução do LCA por meio de dados como sexo, idade, peso, altura e IMC. Esses estudos, em geral, mostram que mulheres magras (> 50 kg) e de baixa estatura (> 140-147 cm) apresentam maior probabilidade de ter enxertos menores do que 7 mm.<sup>9,13,15</sup>

Magnussen et al.<sup>10</sup> analisaram o tamanho do enxerto e a idade do paciente como preditores da revisão precoce na reconstrução do LCA. Os autores demonstraram que o uso de enxertos menores ou iguais a 8 mm e pacientes com menos de 20 anos estão associados às maiores taxas de revisão.

No nosso estudo, demonstrou-se que é possível prever o tamanho do enxerto que será obtido para reconstrução do LCA por meio da medição do diâmetro no plano axial com o nível de corte do epicôndilo medial do fêmur.

Por meio das medições e do algoritmo proposto, num diâmetro estimado de 2,618 + 1,107 (grácil + semitendinoso), pode-se chegar ao tamanho aproximado do enxerto.

Outra forma de avaliar se o enxerto obtido terá o tamanho adequado é por meio da soma dos diâmetros dos tendões. Caso a soma grácil + semitendinoso seja maior do que 5,28 mm, a chance de obter um enxerto maior do que 8 mm é de 75%.

É possível que, com um maior número de casos, principalmente nos que foram obtidos enxertos menores ou iguais a 7, os resultados sejam ainda mais precisos na predição do diâmetro do enxerto.

## Conclusão

Este estudo demonstrou que medida do diâmetro dos tendões grácil e semitendinoso no exame da RNM pré-operatória é uma maneira simples e eficaz na predição do tamanho final do enxerto a ser usado na cirurgia de reconstrução do LCA.

## Conflitos de interesse

Os autores declaram não haver conflitos de interesse.

## REFERÊNCIAS

1. Beyzadeoglu T, Akgun U, Tasdelen N, Karahan M. Prediction of semitendinosus and gracilis autograft sizes for ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012;20(7):1293-7.
2. Kupczik F, Schiavon MEG, Sbrissia B, Fávoro RC, Valério R. Enxerto ideal para ligamento cruzado anterior: correlação em ressonância magnética entre LCA, isquiotibiais, tendão patelar e tendão quadríceps. *Rev Bras Ortop.* 2013;48(5):441-7.
3. Kweon C, Lederman ES, Chhabra A. Anatomy and biomechanics of the cruciate ligaments and their surgical implications. In: Fanelli GC, editor. *The multiple ligament injured knee.* New York: Springer-Verlag; 2013. p. 17-27.
4. Staeubli HU, Adam O, Becker W, Burgkart R. Anterior cruciate ligament and intercondylar notch in the coronal oblique plane: anatomy complemented by magnetic resonance imaging in cruciate ligament-intact knees. *Arthroscopy.* 1999;15(4):349-59.
5. Duthon VB, Barea C, Abrassart S, Fasel JH, Fritschy D, Ménétrey J. Anatomy of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2006;14(3):204-13.
6. Tsukada H, Ishibashi Y, Tsuda E, Fukuda A, Toh S. Anatomical analysis of the anterior cruciate ligament femoral and tibial footprints. *J Orthop Sci.* 2008;13(2):122-9.
7. Araujo P, van Eck CF, Torabi M, Fu FH. How to optimize the use of MRI in anatomic ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2013;21(7):1495-501.
8. Girgis FG, Marshall JL, Monajem A. The cruciate ligaments of the knee joint. Anatomical, functional and experimental analysis. *Clin Orthop Relat Res.* 1975;106:216-31.
9. Treme G, Diduch DR, Billante MJ, Miller MD, Hart JM. Hamstring graft size prediction: a prospective clinical evaluation. *Am J Sports Med.* 2008;36(11):2204-9.
10. Magnussen RA, Lawrence JT, West RL, Toth AP, Taylor DC, Garrett WE. Graft size and patient age are predictors of early revision after anterior cruciate ligament reconstruction with hamstring autograft. *Arthroscopy.* 2012;28(4):526-31.
11. Dwyer T, Whelan DB, Khoshbin A, Wasserstein D, Dold A, Chahal J, et al. The sizing of hamstring grafts for anterior cruciate reconstruction: intra- and inter-observer reliability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2015;23(4):1197-200.

12. Conte EJ, Hyatt AE, Gatt CJ Jr, Dhawan A. Hamstring autograft size can be predicted and is a potential risk factor for anterior cruciate ligament reconstruction failure. *Arthroscopy*. 2014;30(7):882-90.
13. Tuman JM, Diduch DR, Rubino LJ, Baumfeld JA, Nguyen HS, Hart JM. Predictors for hamstring graft diameter in anterior cruciate ligament reconstruction. *Am J Sports Med*. 2007;35(11):1945-9.
14. Fleming BC, Vajapeyam S, Connolly SA, Magarian EM, Murray MM. The use of magnetic resonance imaging to predict ACL graft structural properties. *J Biomech*. 2011;44(16):2843-6.
15. Ma CB, Keifa E, Dunn W, Fu FH, Harner CD. Can pre-operative measures predict quadruple hamstring graft diameter? *Knee*. 2010;17(1):81-3.
16. Wernecke G, Harris IA, Houang MT, Seeto BG, Chen DB, MacDessi SJ. Using magnetic resonance imaging to predict adequate graft diameters for autologous hamstring double-bundle anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2011;27(8):1055-9.
17. Nakayama Y, Shirai Y, Narita T, Mori A, Kobayashi K. The accuracy of MRI in assessing graft integrity after anterior cruciate ligament reconstruction. *J Nippon Med Sch*. 2001;68(1):45-9.
18. Hamada M, Shino K, Mitsuoka T, Abe N, Horibe S. Cross-sectional area measurement of the semitendinosus tendon for anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 1998;14(7):696-701.
19. Bickel BA, Fowler TT, Mowbray JG, Adler B, Klingele K, Phillips G. Preoperative magnetic resonance imaging cross-sectional area for the measurement of hamstring autograft diameter for reconstruction of the adolescent anterior cruciate ligament. *Arthroscopy*. 2008;24(12):1336-41.
20. Yasumoto M, Deie M, Sunagawa T, Adachi N, Kobayashi K, Ochi M. Predictive value of preoperative 3-dimensional computer tomography measurement of semitendinosus tendon harvested for anterior cruciate ligament reconstruction. *Arthroscopy*. 2006;22(3):259-64.